

数理モデルを用いた地質が異なる2つの山地森林流域の 洪水時物質流出機構の定量評価

徳島大学大学院 学生員 ○渡辺 康之
徳島大学大学院 正員 田村 隆雄

1. はじめに: 近年, 流域生態系の保全という観点において, 森林から流出する微量物質に注目が集まっている。しかし現状では, 地質条件の差異が物質流出機構に与える影響のような事についてよく分かっていない。これを議論するには, その他の森林条件, 例えば植生や気候などの条件がほぼ等しい複数の流域を対象にした水質観測が必要となる。そこで本研究では, 植生条件, 降雨条件がほぼ等しく, 地質条件のみが異なる2つの森林流域の水質調査と物質流出機構の評価を行う。具体的には, 砂岩・泥岩からなる香川県東かがわ市の西谷流域及び花崗岩からなる香川県さぬき市の長尾谷流域を対象に2007年台風4号に伴う降雨イベントの水質観測を実施し, 物質流出タンクモデルを適用し, 渓流水濃度の再現を行い, 地質の差異が物質流出機構に与える影響について定量的な検討を試みる。対象物質はカルシウムイオン (Ca^{2+}), シリカ (SiO_2) である。

2. 物質流出タンクモデルの概要: 物質流出タンクモデルの概要を図-1に示す。このモデルは, 上部タンクと地下水タンクからなり, 土壌内の溶質の移流過程, 生物学的作用(硝化や吸収), 土粒子表面の吸着水と土壌間隙水との溶質交換過程(風化溶出も含む)という溶質流出に関する3つの素過程を表現している¹⁾。

3. 渓流水濃度の再現結果: 渓流水濃度の再現結果を図-2, 図-3に示す。

(1) Ca^{2+} : 西谷流域と長尾谷流域の両流域において, モデル計算で観測値の傾向を良好に再現できた。西谷流域に比べ, 長尾谷流域のピーク流出高は1.8倍程度大きい。出水時の渓流水濃度の減少は同程度となった。出水に伴い濃度が減少し, 出水後には回復したことから, Ca^{2+} は主に基岩層に起源があり, 鉱物からの風化溶出により系外に流出していると考えられる。(2) SiO_2 : 西谷流域と長尾谷流域の両流域において, モデル計算で観測値の傾向を良好に再現できた。西谷流域では, 各流出成分の増減に関係なく, 一定の傾向を示していることから, 各流出成分に含まれる濃度は, ほぼ同じであると考えられる。一方, 長尾谷流域では, 出水に伴い濃度が減少し, 出水後には回復したことから,

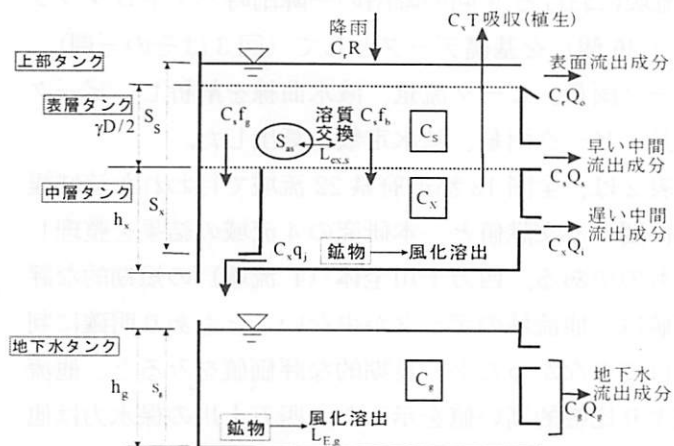


図-1 物質流出タンクモデルの概要

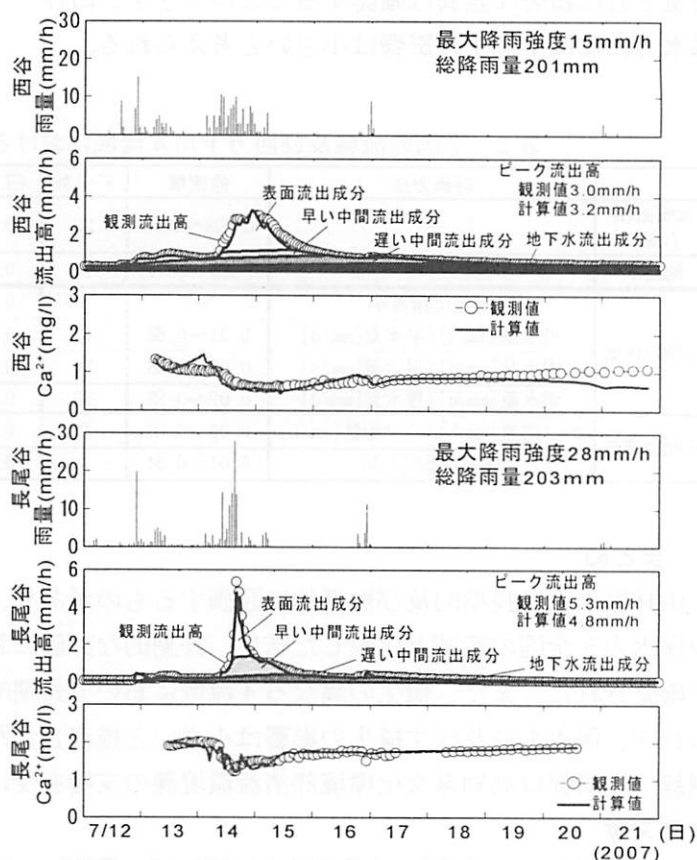


図-2 Ca^{2+} 濃度再現結果

主に基岩層に起源があり、鉱物からの風化溶出により系外に流出していると考えられる。

4. パラメータ同定値の比較: Ca^{2+} , SiO_2 の溶質交換及び風化溶出過程に関わるパラメータ同定値を表-1に示す。物質流出タンクモデルにおける土壌間隙水・土粒子吸着水の交換量を式(1)に示し、地下水タンクの風化溶出成分量を式(2)に示す。式(1)、式(2)のパラメータ ν_s , $E_g \times h_g$ について比較を行う。

$$L_{\text{ex},s} = \begin{cases} (k_s \cdot S_{\text{as}} - C_s) \cdot (\gamma \cdot D/2)^{\nu_s} & (S_s > \gamma \cdot D/2) \\ (k_s \cdot S_{\text{as}} - C_s) \cdot S_s^{\nu_s} & (\gamma \cdot D/2 \geq S_s > 0) \\ 0 & (S_s = 0) \end{cases} \quad (1)$$

ここで, $L_{\text{ex},s}$: 表層タンクの土壌間隙水・土粒子吸着水の交換強度 (mg/hr), k_s : 交換濃度係数, S_{as} : 表層タンク土粒子吸着水濃度 (mg/mm), C_s : 表層タンクの土壌間隙水濃度 (mg/mm), γ : 表層タンクの土壌間隙率, D : 表層タンクの層厚 (mm), ν_s : 交換強度係数, S_s : 表層タンクの貯留水深 (mm) である。

$$L_{E,g} = E_g / (S_g / h_g) \quad (2)$$

ここで, $L_{E,g}$: 地下水タンクからの風化溶出負荷量 (mg/hr), E_g : 地下水タンクにおける溶出負荷係数 (mg/hr), S_g : 地下水タンク貯留高 (mm), h_g : 地下水タンク内の土壌水分飽和容量 (mm) である。西谷は $h_g = 7.5\text{mm}$, 長尾谷は $h_g = 46.0\text{mm}$ である。

(1) ν_s : 表層タンクにおける溶質交換に関わるパラメータである ν_s を比較する。表層タンクは表層土壌を想定しているので、岩石由来の Ca^{2+} 溶出量は少なく流域間の違いはほとんどないと予想されたが、長尾谷流域の ν_s は西谷流域のそれより約2倍大きくなった。これは、長尾谷流域の表層に存在する風化花崗岩(まさ)から、 Ca^{2+} が多量に流出していることを示唆している。

(2) $E_g \times h_g$: 地下水タンクにおける風化溶出に関わるパラメータである $E_g \times h_g$ を比較すると、 Ca^{2+} , SiO_2 両物質とも砂岩・泥岩の西谷流域に比べ花崗岩の長尾谷流域の方が大きくなった。このことから、砂岩・泥岩よりも花崗岩の方が風化しやすいという一般的な知見と一致する。モデルパラメータから、 Ca^{2+} は長尾谷流域が西谷流域の約11倍風化しやすく、 SiO_2 は長尾谷流域が西谷流域の約10倍風化しやすいことが推察される。

5. 結論: 本研究では、地質の異なる2つの山地森林流域で洪水時に観測された Ca^{2+} , SiO_2 濃度をモデルを使って再現して、パラメータを比較することによって地質の差異が物質流出機構に与える影響を考察した。その結果、西谷流域よりも長尾谷流域の方が、 Ca^{2+} , SiO_2 を10倍程度供給しやすいと考えられた。しかし、長尾谷流域の方が西谷流域より雨水が流出しやすいことから、濃度変化に顕著な差が現れなかったと推察できる。

参考文献: 1) 吉田弘・田村隆雄・端野道夫: 森林流域における物質流出機構の数理モデル化に関する基礎的検討, 水工学論文集, 39, pp. 1-6, 1995.

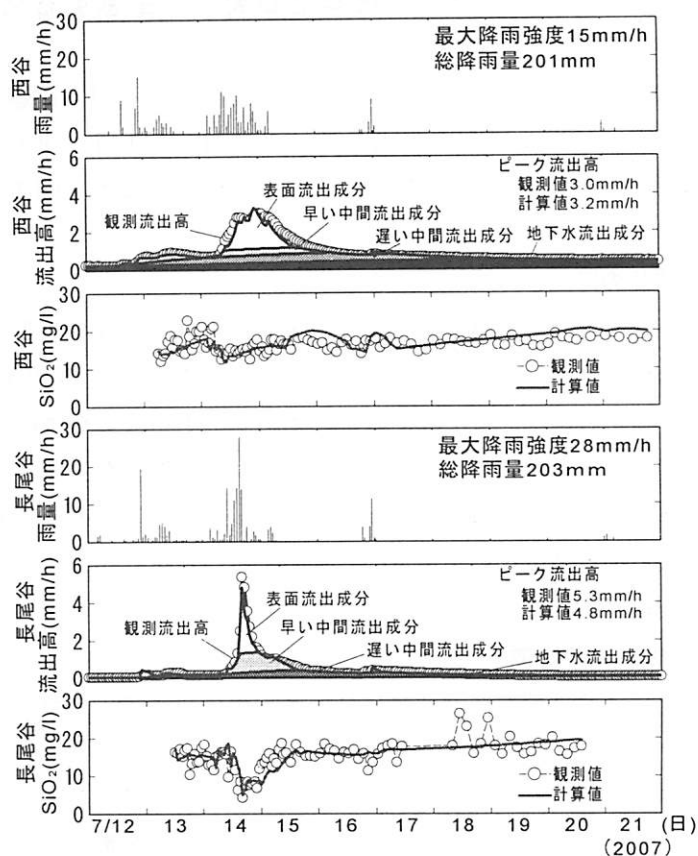


図-3 SiO_2 濃度再現結果

表-1 溶質交換過程に関わるパラメータ同定値

記号	説明	Ca ²⁺		SiO ₂	
		西谷	長尾谷	西谷	長尾谷
物質濃度初期値(mg/mm)					
S _{as ini}	表層タンク土粒子吸着水濃度初期値	0	0	196	21
C _{s ini}	表層タンク濃度初期値	0.1	1.2	20.8	6.3
C _{x ini}	中層タンク濃度初期値	0.4	1.8	15.5	17.3
C _{g ini}	地下水タンク濃度初期値	6.4	2.2	23.5	15.3
移流に関わる係数					
v _s	表層タンク溶質交換強度係数	1.1	2.3	1.4	1.3
k _s	表層タンク溶質交換濃度係数	0.03	0.03	15.80	0.53
E _x	中層タンク溶出負荷係数(mg/hr)	9.3	0.1	44.4	39.8
E _g	地下水タンク溶出負荷係数(mg/hr)	0.07	0.12	1.51	2.44